

BAB II

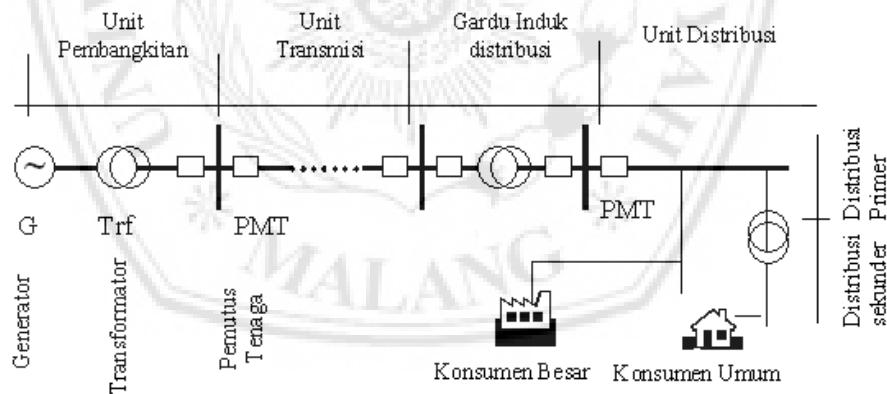
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Electric Power System

Atau bisa juga disebut sistem daya listrik adalah kombinasi dari pusat daya dan gardu induk yang bersinggungan dengan saluran transmisi. Sistem daya listrik pada umum terdiri dari tiga bagian utama, yaitu:

- a. Sistem pembangkit listrik
- b. Transmisi
- c. Distribusi

Pengoprasian dari sistem daya listrik adalah pembangkit, transmisi, dan distribusi tidak dapat dipisahkan satu sama lain karena bagian-bagian tersebut merupakan sistem yang kompleks. Pembangkit listrik, saluran transmisi dan jaringan distribusi berfungsi untuk menyalurkan daya dari pembangkit ke beban. Hal tersebut dapat dilihat pada gambar 2.1



Gambar 2.1 *Electric Power System* [7]

Pembangkitan sistem tenaga dilakukan oleh Sistem Pembangkitan Tenaga Listrik (PTL) melalui berbagai macam pembangkit. Jenis PTL sendiri yang digunakan tergantung pada ketersediaan dari jenis bahan bakar atau energi primer yang ada. Saluran transmisi yang memiliki energi listrik akan diteruskan ke sistem distribusi agar disalurkan ke beban. PTL sebesar 500 kV di Indonesia termasuk

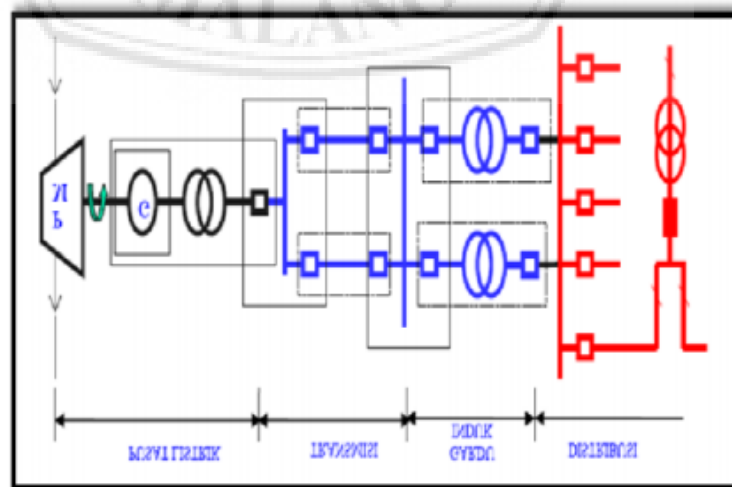
dalam Tegangan Ekstra Tinggi (TET). Sedangkan 70 kV, 150 kV, dan 275 kV termasuk dalam Tegangan Tinggi (TT). Selanjutnya 6 kV dan 20 kV termasuk Tegangan Menengah (TM). Dan terakhir 220/380 volt Tegangan Rendah (TR) yang umum digunakan pada system distribusi Indonesia [7].

2.2 Distribution System

2.2.1 Pengertian Sistem Distribusi

Sistem distribusi adalah bagian penting dari sistem energi. Sistem distribusi daya menyediakan listrik kepada konsumen dari sumber daya yang besar dalam subsistem listrik yang paling dekat dengan pelanggan. Secara umumnya jumlah gangguan pada jaringan distribusi lebih tinggi dari pada jaringan transmisi. Jaringan distribusi terdiri dari 2 yaitu, distribusi Jaringan Tegangan Menengah (JTM) yaitu merupakan saluran udara tegangan menengah dan kabel tanah memiliki tegangan antara 3 kV sampai 20 kV, serta distribusi Jaringan Tegangan Rendah (JTR).

Gangguan pada saluran distribusi biasanya tidak hanya disebabkan oleh petir tetapi bisa juga dikarenakan sentuhan pohon apalagi disekitar perkotaan yang terdapat bangunan-bangunan serta pohon-pohon yang tingginya melebihi tiang saluram udara tegangan distribusi. Ini berarti bahwa udara tegangan menengah dikota sangat terlindung dari petir, tetapi banyak orang mengganggu kontak dengan pohon. Berikut adalah gambar jaringan distribusi secara umum



Gambar 2.2 Gambar Distribusi Tenaga Listrik Secara Umum [8]

Sistem distribusi sendiri dikelompokkan menjadi dua subdivisi yaitu, yang pertama distribusi primer dimana pada sistem ini berfungsi sebagai penyaluran daya listrik dari gardu induk ke bagian-bagian beban. Selanjutnya yang kedua adalah distribusi sekunder biasa disebut dengan distribusi tegangan rendah karena besar tegangan distribusi sekunder adalah 380/220V yang mana pengoperasian sistem tersebut menuju ke meteran para pelanggan.

Desain pada sistem distribusi sangat bervariasi, yaitu diantaranya sebagai berikut:

A. Jaringan Radial

Dimana pada jaringan ini berasal dan titik beban hanya terdapat satu *line* dan tidak ada pilihan *line* lainnya. Jaringan radial sendiri paling umum digunakan dikarenakan bentuknya yang paling sederhana. Hanya saja keandalan dari jaringan ini lebih rendah dibandingkan jaringan yang lain.

B. Jaringan Hantaran Penghubung (*Tie Line*)

Tie Line sendiri terdiri dari dua pengumpan *switch*/saklar otomatis, peralatan listrik yang terhubung ke lokasi pelanggan sehingga, ketika terjadi kesalahan dalam pengumpanan, daya dipasok oleh pemasok lain.

C. Jaringan Lingkar (*Loop*)

Rangkain penyulang membentuk *ring* sehingga disebut jaringan ligkar. Pada jaringan ini pelayanan yang berkelanjutan lebih terjamin karena titik beban akan dioprasikan dari dua arah penyulang. Rugi-rugi pada tegangan dan daya pada saluran pun juga menjadi berkurang sehingga dapat menghasilkan kualitas daya yang lebih baik.

D. Jaringan *Spindel*

Jaringan modifikasi distribusi yang populer adalah jaringan *spindel* dimana jaringan tersebut kombinasi dari jaringan pola radial dengan *ring*. *Spindel* sendiri memiliki 2 atau lebih penyulang (*feeder*), yang tegangan didapatkan dari gardu induk dan diteruskan pada sebuah gardu hubung.

E. Sistem Gugus atau Sistem Kluster

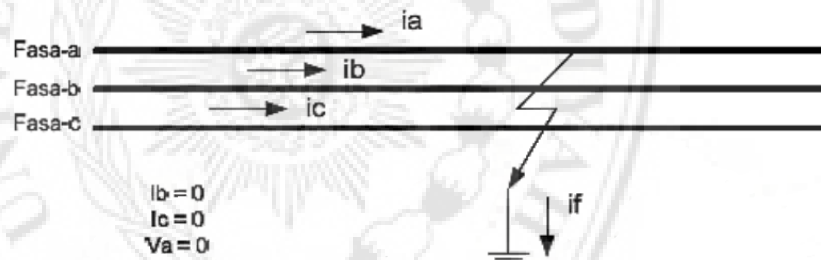
Di kota-kota besar paling umum menggunakan konfigurasi gugus tersebut karena kerapatan beban yang tinggi. Penyulang cadangan didapatkan dari sistem ini dimana penyulang tersebut digunakan ketika terjadi gangguan dalam pengumpanan konsumen, pengumpanan menggantikan fungsi pasokan konsumen.

2.2.2 Jenis-Jenis Gangguan Distribusi

A. Gangguan Hubung Singkat (Siklus Pendek)

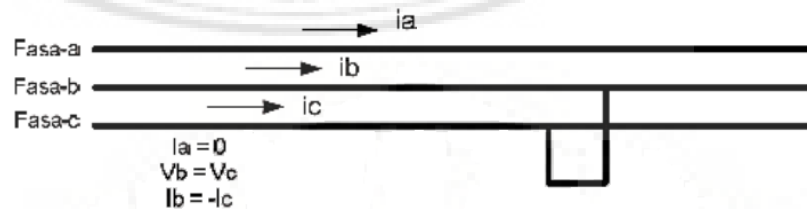
Gangguan asimetris adalah hambatan paling umum dalam sistem energi yang menyebabkan gangguan arus dan tegangan. Analisis memerlukan metode komponen simetris. Artinya, persingkat semua sumber tegangan dalam sistem dan ganti simpul yang gagal dengan sumber tegangan lain yang sama dengan tegangan awal sebelum terjadi gangguan. Berikut adalah gambar klasifikasi gangguan siklus pendek dibagi menjadi empat jenis, yaitu:

1. *Short Circuit* Satu Fasa ke Tanah



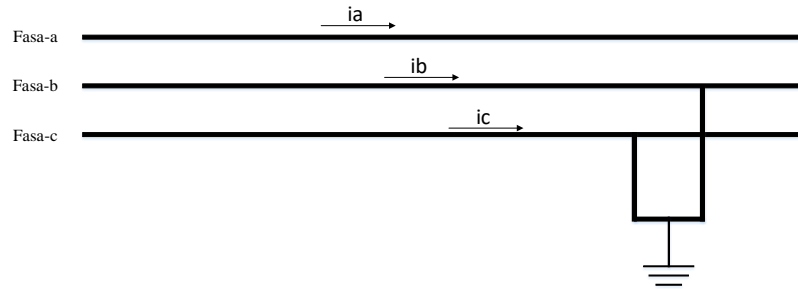
Gambar 2.3 Gangguan Siklus Pendek Satu Fasa ke Tanah [9]

2. *Short Circuit* Dua Fasa



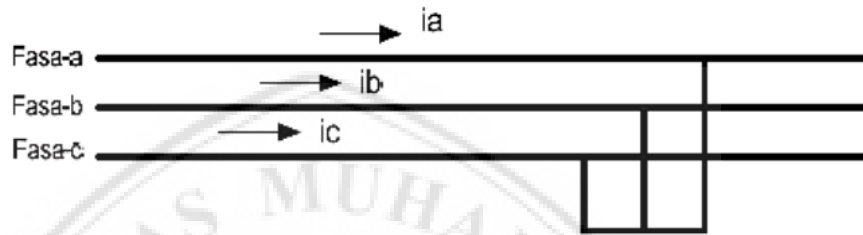
Gambar 2.4 Gangguan Siklus Pendek Dua Fasa [9]

3. *Short Circuit* Dua Fasa ke Tanah



Gambar 2.5 Gangguan Siklus Pendek Dua Fasa ke Tanah [9]

4. *Short Circuit* Tiga Fasa



Gambar 2.6 Gangguan pada Siklus Pendek 3 Fasa [9]

B. Gangguan *Overload*

Overload sering dialami pada trafo ataupun pada saluran dikarenakan beban yang masuk selalu bertambah atau bisa juga karena manuver di *network* yang disebabkan oleh gangguan. *Overload* yang berlebihan dapat membahayakan peralatan serta mengakibatkan rusaknya pada peralatan listrik secara cepat.

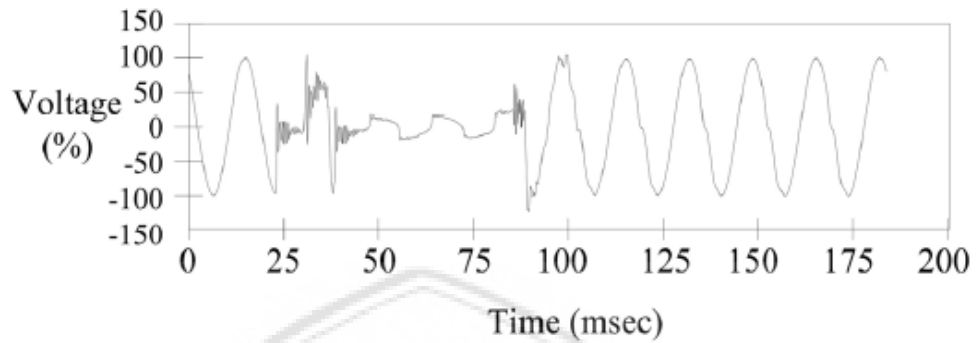
C. Gangguan Tegangan Lebih

Overvoltage adalah masalah akibat karena peningkatan tegangan pada hantaran distribusi atau tegangan besar yang melampaui tingkat ketahanan isolasi dari hantaran distribusi, sehingga menyebabkan terjadinya *short circuit*.

2.3 *Voltage Sag*

Standar IEEE 1159-1995 adalah untuk menggambarkan perbedaan tegangan RMS antara 10% dan 90% dari nilai nominal dan bertahan selama 0,5 masa hingga 1 menit. Secara umum digambarkan oleh tegangan yang tersisa di bus (*sag magnitude*) dan durasi selama terjadi tegangan rendah (*voltage sag*). *Voltage sag* sering disebabkan oleh kesalahan dalam sistem tenaga ataupun *start-up* motor induksi yang membutuhkan kapasitas besar. Hal tersebut bisa mengganggu atau mengakibatkan kerusakan pada peralatan listrik beban sensitif. *Voltage Sag* dapat

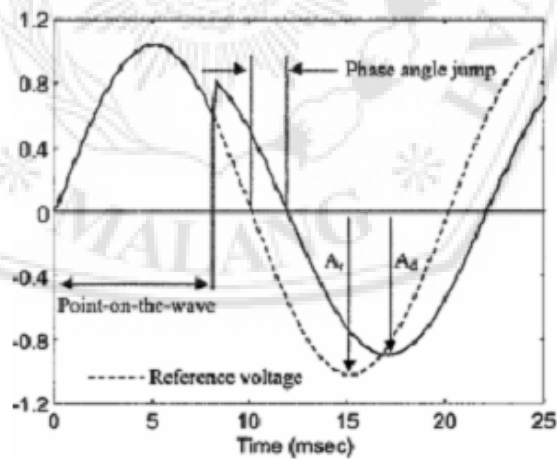
terjadi pada utilitas sistem, baik pada tegangan distribusi maupun tegangan transmisi. Berikut adalah gelombang tegangan terjadinya *voltage sag* ditunjukkan pada Gambar 2.7



Gambar 2.7 *Voltage Sag* [10]

2.3.1 Karakteristik *Voltage Sag*

Berikut adalah gambar *voltage sag* untuk tegangan gelombang sinusoidal murni tanpa harmonik.



Gambar 2.8 Spesifikasi *Voltage Sag*

Voltage sag sendiri memiliki 2 karakter yaitu karakter utama dan karakter khusus. Karakter utama diantaranya yaitu besarnya *voltage sag*, perubahan fasa terhadap tegangan referensi, dan titik awal munculnya *sag*. Sedangkan karakter

khusus yaitu besarnya *fault* dan durasi waktunya. Jumlah *sag* ditentukan oleh jarak kesalahan dan durasinya bergantung pada waktu penghilangan kesalahan.

a *Sag Magnitude*

Sag Magnitude adalah total *root mean square* ketika kesalahan terjadi, dinyatakan dalam persentase dan pu (untuk setiap komponen) dari volume yang merupakan nilai.

b *Durasi Sag*

Ketika tegangan turun ke level rendah, biasanya disebut durasi *sag* yang berlangsung kurang dari 1 detik. Waktu berjalan tergantung pada perangkat perlindungan yang berlebihan dan berapa lama aliran kesalahan akan terjadi.

c *Phase Angle Jump*

Perubahan Sudut fasa tegangan terjadi karena *fault* yang terjadi pada sistem tenaga listrik. *Phase angle jump* sendiri yaitu perbandingan sudut fasa saat dan sebelum timbulnya *voltage sag*.

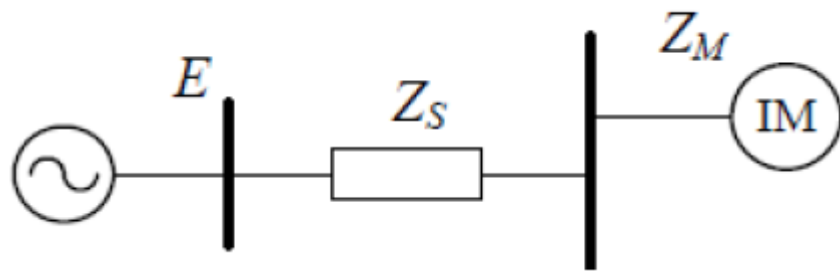
2.3.2 Faktor Awal Timbulnya *Voltage Sag*

Berikut adalah dua penyebab terjadinya *voltage sag* secara umum, yaitu sebagai berikut :

a. Menyalakan Motor Induksi Berdaya Besar

Dalam proses ini, motor *starter* meningkat 5-6 kali lebih tinggi dari posisi saat ini dalam operasi normal. Untuk menggambarkan fenomena *start-up*, diagram motor induksi ditunjukkan pada awal Gambar 2.9. dimana V_{sag} adalah tegangan merosot, E sumber tegangan, Z_s adalah impedansi sumber dan Z_M adalah impedansi motor selama terjadinya *start-up*.

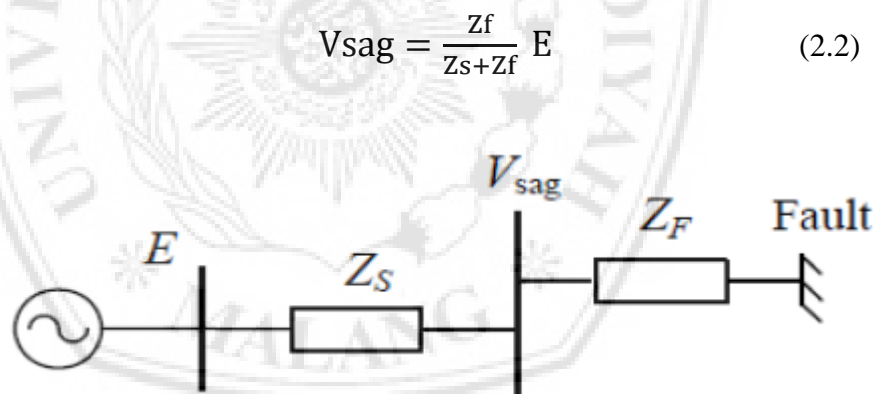
$$V_{sag} = \frac{Z_m}{Z_s + Z_m} E \quad (2.1)$$



Gambar 2.9 Rangkaian Proporsional untuk Analisis *Voltage Sag* [5]

b. Short Circuit

Gangguan hubung singkat atau sirkuit pendek dapat menyebabkan tegangan turun. Sirkuit pendek tiga fase memiliki efek terbesar pada *voltage sag*, antara sirkuit simetris dan sirkuit pendek simetris. Untuk menentukan ukuran sensor tegangan dalam sistem transmisi, model pemecahan tegangan dapat digunakan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.10. Resistansi Z_s adalah sumber tegangan pada titik saklar (PCC) dan Z_f adalah gangguan antara PCC dan titik gangguan.



Gambar 2.10 Pemodelan Tegangan untuk Menghitung *Voltage Sag* dalam Sistem Distribusi Radial [5]

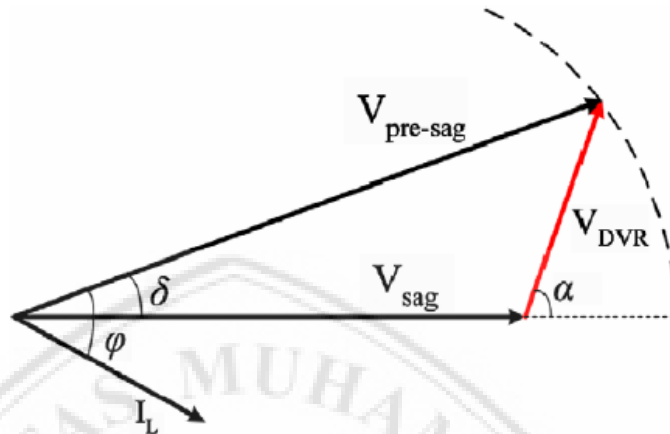
2.3.3 Pengaruh *Voltage Sag*

Berikut adalah Pengaruh *voltage sag* dikarenakan gangguan hubung singkat sebagai berikut:

- Jika *voltage sag* mencapai kurang dari 50%, pada komputer dan jenis lain dari komputasi elektronik dapat kehilangan memori dan *restart* membutuhkan waktu yang lama.

- Jika *voltage sag* mencapai sampai dengan 65%, pada industri proses produksi akan berhenti serta penerangan pun juga akan berkedip.

Berikut gambar kompensasi pengapliaksian DVR saat terjadinya *voltage sag*.



Gambar 2.11 Teknik Kompensasi Selama *Pre-Sag* [11]

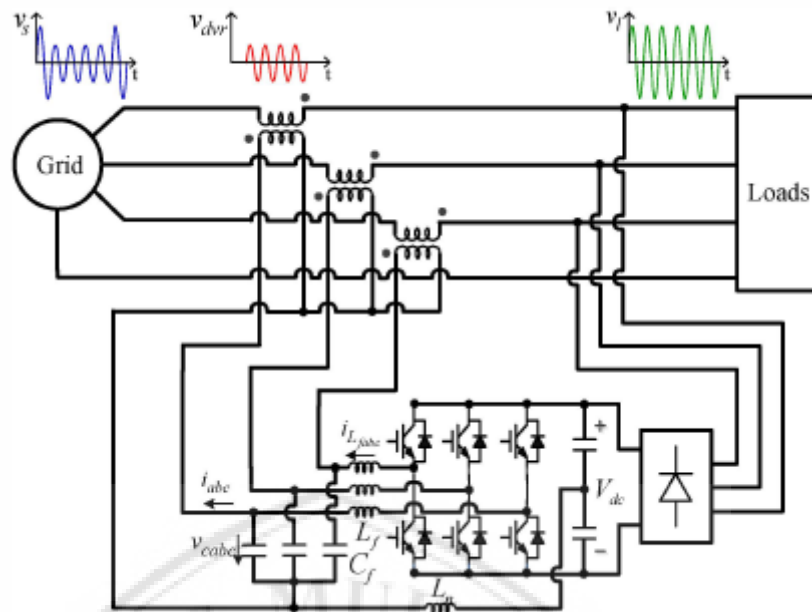
2.4 Dynamic Voltage Restorer

Dynamic Voltage Restorer atau biasa disebut dengan DVR merupakan satu diantara beberapa alat elektronika daya yang fungsinya mencegah kerusakan beban terhadap gangguan tegangan seperti *voltage sag*. DVR sendiri berfungsi untuk mengkompensasi tegangan pada saat terjadi gangguan, DVR dilengkapi dengan transformator berurutan antara pengumpan dan beban sensitif.

Padiyar dalam bukunya “*Facts Controllers in Power Transmission and Distribution*” menjelaskan DVR memiliki dua kondisi operasi, yaitu:

- Standby* atau *Short Circuit Operation (SCO)* adalah suatu kondisi dimana tidak terjadinya *voltage sag* dan tegangan yang diinjeksi memiliki magnituda nol.
- Boost* adalah kondisi ketika penurunan tegangan terjadi, DVR menyuntikkan tegangan yang diperlukan ke dalam ukuran dan fasa yang benar untuk memperbaiki tegangan bus.

Secara global, Gambar 2.12 konfigurasi rangkaian DVR yang disajikan memiliki empat fungsi dasar yaitu: transformator injeksi / kopling, kontrol, filter, dan penyimpanan daya.



Gambar 2.12 Konfigurasi DVR pada Sistem Distribusi [12]

2.4.1 Voltage Source Inverter (VSI)

VSI adalah peralatan elektronika daya yang dapat menghasilkan tegangan sinusoida dengan *magnitude*, frekuensi, dan sudut fasa yang diinginkan. *Pulse width modulation – voltage source inverter* (PWM-VSI) digunakan pada penelitian ini yang terdiri dari *switching* yaitu *insulated gate bipolar transistor* (IGBT).

Keuntungan utama VSI adalah mengubah tegangan DC yang dihasilkan oleh perangkat penyimpanan energi menjadi tegangan AC yang diperlukan untuk transformator injeksi/kopling untuk mengkompensasi tegangan pada beban sensitif.

2.4.2 Injection Transformer

Transformator satu fasa dihubungkan secara seri dengan penyulang distribusi yang diterhubung dengan VSI untuk level tegangan tinggi distribusi. Transformator satu fasa dapat dihubungkan secara *star/open* atau *delta/open*.

Manfaat utama dari transformator injeksi / kopling adalah untuk menghasilkan tegangan pendinginan sebagai isolasi listrik dan dengan meningkatkan pasokan tegangan AC rendah yang dihasilkan oleh VSI. Dalam hubungan *delta / open*, tidak ada injeksi tegangan urutan nol terjadi. Pilihan koil dari transformator injeksi

ditentukan oleh hubungan transformator *buck* yang diumpankan kembali ke beban. Jika transformator adalah *delta / open*, tidak perlu menggunakan tegangan urutan-nol, tetapi jika hubungan *start/ open* digunakan pada titik *ground*, tegangan urutan-nol harus dikompensasi.

2.4.3 Energi Storage

Fungsi *energy storage* yaitu menghasilkan daya aktif untuk mensuplai beban pada saat terjadi *voltege sag*. Baterai, *lead-acid*, *flywheel* atau *superconducting magnetic energy storage* (SMES) dapat digunakan untuk menyimpan energi.

2.4.4 Harmonik Filter

Filter pasif diperlukan untuk memblokir harmonik frekuensi tinggi yang dihasilkan oleh *switching* PWM. Filter ini dapat dihubungkan baik di sisi inverter atau di sisi garis. Dalam kasus ini, filter pasif dipertimbangkan pada sisi inverter dan frekuensi *cut-off* ditentukan berdasarkan frekuensi sumber dengan 50 Hz.

2.5 Sistem Kendali

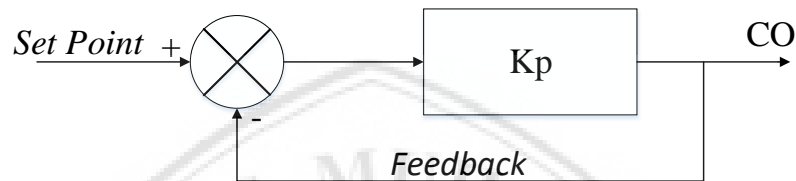
Pengendali *Proportional Integral* (PI) merupakan pengendali yang banyak digunakan dalam industri. Pengendali PI telah betahan sejak lama, dari era sistem analog hingga era sistem digital komputer. Pada kenyataannya perkembangan teknologi digital dan *software* telah membuat perkembangan yang signifikan terhadap penelitian PI.

2.5.1 Pengendali Proportional (P)

Pengendali *proportional* menghasilkan nilai *output* yang sebanding dengan sinyal *error* yang dihasilkan. Respon *propotional* dapat disesuaikan dengan mengalikan sinyal *error* terhadap K_p atau yang disebut dengan *propotional gain* dan dapat memperbaiki respon transien, ini sesuai dengan P

$$CO(t) = K_p e(t) \quad (2.3)$$

Hasil proporsional menyebabkan perubahan besar dalam *output*, perubahan kesalahan. Jika relatif tinggi, sistem mungkin menjadi bermasalah. Hasil yang lebih kecil juga membuat reaksi yang lebih kecil berdasarkan kecacatan input besar dan kontrol yang reaksinya kurang atau kurang sensitif. Jika pengakuan *proportional* sangat lemah, prosedur kontrol mungkin sangat lemah terhadap gangguan. Menurut teori organisasi dan praktik industri, istilah proporsionalitas harus mengacu pada sebagian besar perubahan produksi.



Gambar 2.13 Diagram Blok Pengendali *Proportional*

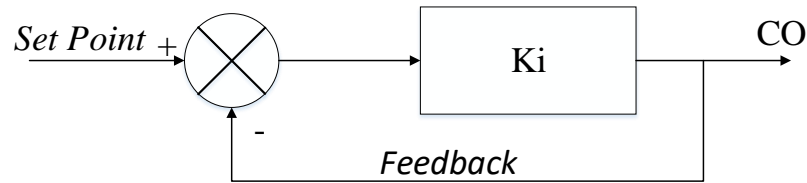
2.5.2 Pengendali *Integral* (I)

Integral (I) adalah perbandingan antara besarnya kesalahan dan durasi kesalahan. Pengendali *integral* digunakan untuk menghilangkan *error steady state* (*offset*) pada keadaan lunak. *Offset* biasanya terjadi pada *plant* yang tidak mempunyai faktor *integrates* (1/s), ini sesuai dengan persamaan berikut:

$$CO(t) = K_i \int e(t) dt \quad (2.4)$$

Disamping menghilangkan sinyal *error* dan *offset*, ada kemungkinan pengendali *integral* dapat menimbulkan respon yang berisolasi dengan amplitudo yang mengecil secara perlahan atau membesar.

Integral mempercepat gerakan respon menuju *set-point* dan menghilangkan sisa kesalahan *steady state* yang terjadi dengan pengendali *proportional* murni. Namun, karena istilah *integral* menanggapi akumulasi kesalahan dari masa lalu, dapat menyebabkan nilai sekarang untuk melampaui *set-point*.

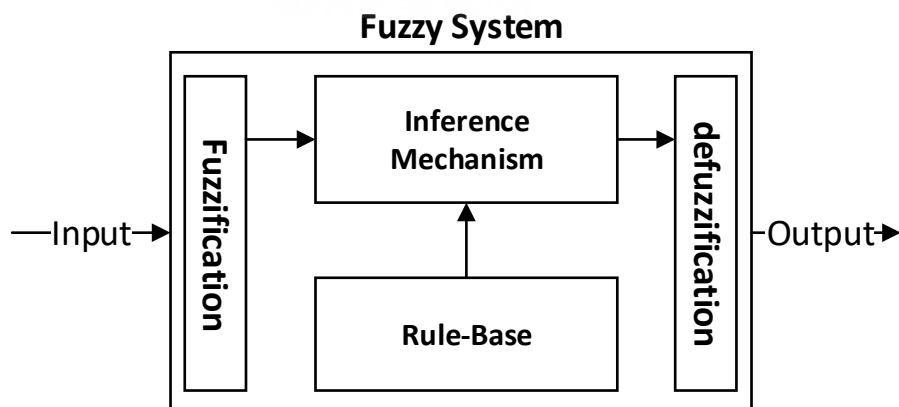


Gambar 2.14 Diagram Blok Pengendali *Integral*

2.6 Fuzzy Logic Controller

Logika Fuzzy ditemukan dan diterapkan pada tahun 1965 oleh Profesor Lotfi Zadeh. Kontrol fuzzy menyediakan metodologi formal untuk menggambarkan, memanipulasi, dan menerapkan pengetahuan heuristik tentang kontrol sistem. Fuzzy adalah pembuat keputusan buatan yang bekerja secara *real time* dalam sistem sirkuit tertutup. Kinerja pengontrol logika Fuzzy didokumentasikan dengan baik dalam kaitannya dengan transien dan peningkatan keseimbangan.

Fuzzy memiliki dua efek: nilai kesalahan (e) dan delta kesalahan (Δe). Untuk lebih jelas memerlukan nilai keanggotaan, kegiatan IF-THEM dan basis pengetahuan. Fuzzy mempunyai urutan dalam pembuatan sistem *functional block* utama yaitu *Knowledge base*, *Fuzzification*, *Inference mechanism* dan *Defuzzification*. Basis pengetahuan terdiri dari basis data dan basis aturan. Basis data terdiri dari fungsi keanggotaan *input* dan *output*, menyediakan informasi untuk operasi fuzzifikasi yang sesuai, mekanisme inferensi, dan defuzzifikasi. Basis aturan terdiri dari seperangkat aturan linguistik yang menghubungkan variabel *input* fuzzy dengan tindakan kontrol yang diinginkan. Sistem Fuzzy Logic digambarkan dalam diagram pada Gambar 2.15



Gambar 2.15 Struktur Sistem Fuzzy

2.6.1 Fuzzification

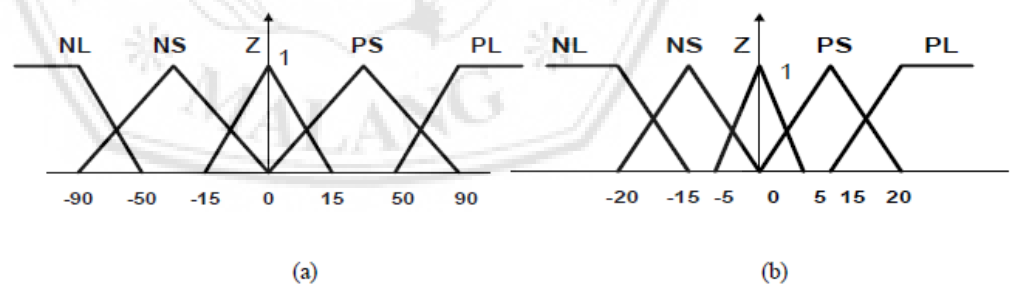
Fuzzification mengubah nilai pada variable sinyal *input error* (e), dan perubahan kesalahan (Δe) menjadi sinyal *fuzzified* yang dapat diidentifikasi berdasarkan tingkat keanggotaan dalam *fuzzy set* (himpunan fuzzy).

a. Fuzzy Set

Fuzzy set atau himpunan fuzzy adalah suatu himpunan yang beranggotakan sejumlah istilah dalam pengetahuan bahasa yang menyatakan level kualitatif dari semesta pembicara X. Keanggotaan dalam *fuzzy set* dengan logika manusia sangat *kompleks*, sehingga tidak dapat dinyatakan dalam bentuk tertentu dan berbeda untuk tiap individu.

b. Fuzzy Membership function

Fungsi keanggotaan Fuzzy adalah suatu fungsi yang didefinisikan untuk suatu anggota himpunan Fuzzy yang menggambarkan derajat kebenaran suatu kejadian dalam semesta pembicaraan X, dinyatakan dalam tingkat keanggotaan (*grede of membarship*) dengan nilai antara 0 s/d 1. Untuk menggambarkan bagaimana fungsi keanggotaan Fuzzy perhatikan Gambar 2.16



Gambar 2.16 (a). *Membership Function Error* (e), (b). *Membership Function Delta Error* (Δe) [13]

c. Fuzzy Membership Function Representation

Dalam bentuk representasi umum himpunan dinyatakan dalam bentuk sebagai berikut:

$$S : \{\text{himpunan fuzzy semesta pembicara}\}$$

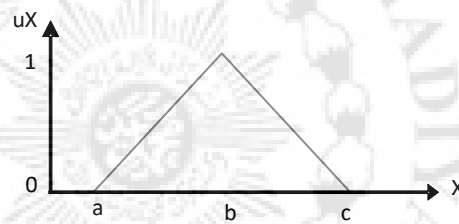
$S_i \in S, i=1,2 \dots n$; S_i : himpunan pendukung ke i , dan n jumlah himpunan pendukung.

Nilai Logika Fuzzy X dapat dinyatakan dalam representasi umum himpunan:

$$X=\{\mu_{x1/S1}; \mu_{x1/S1} \dots \dots \mu_{xn/Sn}\}$$

d. Bentuk-Bentuk Fungsi Keanggotaan

Fungsi keanggotaan fuzzy memiliki bentuk yang beragam. Meskipun beragam fungsi keanggotaan tersebut tetap menyatakan derajat keanggotaan pada nilai *output* sampai dengan *input*. Fungsi keanggotaan dengan distribusi segitiga adalah yang paling umum digunakan karena kemudahannya. Fuzzifikasi dengan fungsi keanggotaan dengan distribusi segitiga dilakukan dengan persamaan :



Gambar 2.17 Grafik Fungsi Keanggotaan Segitiga

$$\mu_x = \begin{cases} \frac{(x-a)}{b-a} & \text{if } (a < x \leq b) \\ \frac{(c-x)}{c-b} & \text{elif } (b < x \leq c) \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (2.5)$$

2.6.2 Rule Base

Basis Aturan fuzzy menyatakan hubungan kejadian yang ada pada *input* Fuzzy dengan keputusan apa yang ada pada *output* Fuzzy. Hubungan tersebut dapat dinyatakan dengan hubungan “jika” “maka” atau “if” “than”. Jika istilah-istilah dalam nilai *error* dan *delta error*.

{"nb", "n", "z", "p", "pb"}

= {"negatif besar", "negatif", "zero", "positif", "positif besar"}

$$error = \{ "nb", "n", "z", "p", "pb" \}$$

$$\Delta error = \{ "nb", "n", "z", "p", "pb" \}$$

Dengan himpunan *output* sinya kontrol adalah sebagai berikut:

$$sinyal\ control = \{ "NB", "N", "Z", "P", "PB" \}$$

Maka basis aturan dari hubungan *input* dan *output* dapat dinyatakan dengan fungsi berikut:

$$\text{if } e \text{ is } nb \text{ and } de \text{ is } nb \text{ then } u \text{ is } NB \quad (2.6)$$

$$\text{if } e \text{ is } nb \text{ and } de \text{ is } n \text{ then } u \text{ is } NB \quad (2.7)$$

Dan seterusnya hingga semua kondisi terpenuhi.

Selain disajikan dengan logika “*if*” “*than*”, basis aturan juga dapat disajikan dengan tabel sebagai berikut:

Tabel 2.1 Tabel Basis Aturan Fuzzy

		Error				
		Nb	N	Z	P	pb
Delta error	nb	NB	NB	NB	N	Z
	N	NB	NB	N	Z	P
	Z	NB	N	Z	P	PB
	P	N	Z	P	PB	PB
	pb	Z	P	PB	PB	PB

2.6.3 Inearence Mechanism (Operasi Himpunan)

Mekanisme inferensi menggunakan kumpulan aturan linguistik untuk mengubah kondisi input menjadi *output fuzzified*. Inferensi fuzzy dilakukan untuk menghitung berapa nilai keanggotaan *output* berdasarkan nilai keanggotaan *input* dan basis aturan yang didefinisikan. Terdapat berapa metode inferensi fuzzy diantaranya sebagai berikut:

- Metode Generalized Modus Ponens (GMP) atau metode Mamdani:

$$\mu u(k) = \min[\mu u(k), \min\{\mu e(j), \mu de(i)\}] \quad (2.8)$$

- Metode Larsen :

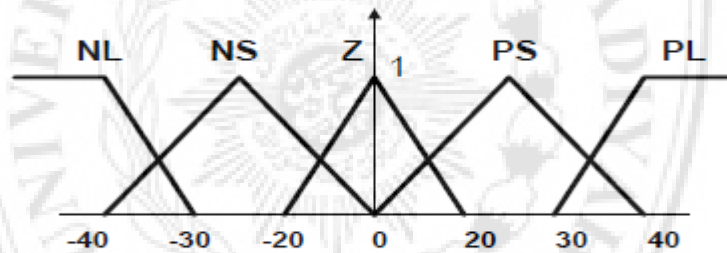
$$\mu u(k) = 0.5[\mu u(k) + \{\mu e(j) \cdot \mu de(i)\}] \quad (2.9)$$

2.6.4 Defuzzification

Defuzzifikasi mengubah *output* Fuzzy menjadi sinyal kontrol yang tajam, dalam sistem bertindak sebagai perubahan dalam *input* kontrol. Defuzzifikasi adalah bagian terakhir dari sistem Fuzzy yang digunakan untuk menghitung besar nilai nyata berdasarkan hasil perhitungan inferen dan *membership output* yang didefinisikan terdapat beberapa metode defuzzifikasi diantaranya *Maximum of Maan* (MOM), *Center of Area* (COA) atau *Center of Gravity* (COG). Metode COG diskrit sering digunakan untuk defuzzifikasi karena mudah dalam mengimplementasikan dalam bahasa pemrograman. Persamaan defuzzifikasi COG dinyatakan dalam persamaan:

$$u = \frac{\sum_{k=1}^m b(k) \cdot \mu u(k)}{\sum_{k=1}^m \mu u(k)} \quad (2.10)$$

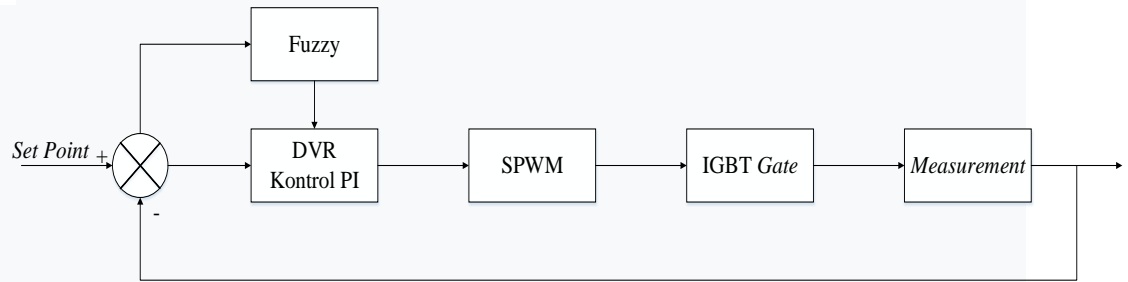
b = nilai tengah keanggotaan output



Gambar 2.18 Membership Function untuk Output (Δu) [13]

2.7 DVR Dengan PI Fuzzy Controller

Adaptasi fuzzy *proporsional integral* (PI) untuk pengontrolan yang dioptimalkan dengan DVR diharapkan untuk mengurangi *voltage sag*. Algoritma kontrol menentukan jumlah dari daya aktif yang dapat ditransfer melalui DVR dan juga pengoptimalan yang sama. Hilangnya daya dalam rangkaian DVR diawasi dan tegangan beban dikompensasi dengan menggunakan adaptasi Fuzzy PI Controller untuk menghasilkan nilai K_p , K_i , harmonisa, dan juga memberikan redaman yang lebih baik pada beban tegangan yang hilang akibat *voltage sag*. Diagram blok DVR dengan menggunakan Fuzzy PI controller ditampilkan pada Gambar 2.19



Gambar 2.19 Diagram Blok DVR dengan Fuzzy PI Controller

